



Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Ликонцева Ю.С., Штайгер В.А., Голиков Р.А.

Оценка аэрогенного риска для здоровья населения Абакана

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», 654041, Новокузнецк, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Абакан, административный и промышленный центр Хакасии, имеет многопрофильную специализацию экономики. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу города создаются предприятиями различных отраслей промышленности, что может приводить к формированию риска для здоровья населения.

Цель исследования — дать оценку риска для здоровья населения Абакана от воздействия загрязнений атмосферного воздуха.

Материалы и методы. В работе использованы официальные данные о валовых выбросах в атмосферу Абакана от промышленных источников и концентрациях загрязняющих примесей в 2022–2024 гг. по двум мониторинговым постам наблюдения Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Предельно допустимые концентрации атмосферных загрязнителей оценивали по СанПиН 1.2.3685–21. Риски для здоровья населения рассчитывали в соответствии с Руководствами Р 2.1.10.1920–04 и Р 2.1.10.3968–23.

Результаты. Выявлено превышение максимальных разовых концентраций взвешенных веществ, оксида углерода, фенола, формальдегида и среднегодовых концентраций взвешенных веществ, формальдегида, бенз(а)пирена. Коэффициенты опасности при остром ингаляционном воздействии загрязняющих примесей были допустимыми или минимальными. Настораживающие уровни неканцерогенного риска формировались при хроническом воздействии взвешенных веществ (HQ 1,36–1,59) и формальдегида (HQ 1,63–2,57); высокие уровни — при хроническом воздействии бенз(а)пирена (HQ 3,5–9,3). Риск острого ингаляционного воздействия взвешенных веществ на органы дыхания соответствовал допустимому уровню в 2022–2023 гг. (HI 1,11–1,39). Хронический ингаляционный риск для органов дыхания определялся основным воздействием взвешенных веществ и формальдегида и соответствовал настораживающему уровню (HI 4,13–5,67). Хроническое влияние бенз(а)пирена на развитие формовало высокие риски в 2022 г. (6,47–9,78) и настораживающие — в 2023–2024 гг. (HI 3,87–4,68). Суммарный индивидуальный канцерогенный риск соответствовал допустимому уровню, наибольший удельный вес в риске имел формальдегид (86,2–95,8%).

Ограничения исследования состояли в использовании для расчётов рисков воздействия максимальных разовых и среднегодовых концентраций загрязняющих примесей в атмосферном воздухе Абакана данных, предоставленных лишь мониторинговыми постами наблюдения.

Заключение. Полученные результаты оценки риска для здоровья населения могут считаться критериями результативности атмосфероохранных мероприятий, реализуемых в Абакане в рамках федерального проекта «Чистый воздух».

Ключевые слова: риски для здоровья; атмосферный воздух; загрязняющие примеси; Абакан

Соблюдение этических стандартов. Данное исследование не требовало заключения этического комитета.

Для цитирования: Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Ликонцева Ю.С., Штайгер В.А., Голиков Р.А. Оценка аэрогенного риска для здоровья населения Абакана. Гигиена и санитария. 2026; 105(4): 430–437. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-4-430-437> <https://elibrary.ru/twgudu>

Для корреспонденции: Кислицына Вера Викторовна, e-mail: ecologia_nie@mail.ru

Вклад авторов: Суржиков Д.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Кислицына В.В. — обзор литературы, написание текста, редактирование; Ликонцева Ю.С. — сбор и обработка данных; Штайгер В.А. — сбор и обработка данных; Голиков Р.А. — сбор и обработка данных. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 26.01.2026 / Поступила после доработки: 20.04.2026 / Принята к печати: 24.04.2026 / Опубликовано: 18.05.2026

Dmitry V. Surzhikov, Vera V. Kislitsyna, Yuliya S. Likontseva, Varvara A. Shtaiger, Roman A. Golikov

Assessment of the aerogenic risk to the health in the population in Abakan

Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Abakan is the administrative and industrial center of Khakassia, characterized by a multi-profile specialization of the economy. Pollutant emissions into the city atmosphere are created by enterprises of various industries, which can lead to the formation of a risk to public health.

The study aim was to assess the health risk to the population of Abakan due to the exposure to air pollutants.

Materials and methods. The work used official data on gross emissions into the atmosphere of Abakan from industrial sources and concentrations of pollutants in 2022–2024 at two monitoring Roshydromet observation posts. Maximum permissible concentrations of atmospheric pollutants were assessed according to the Sanitary Rules and Norms 1.2.3685–21. The risks to public health were calculated in accordance with Guidelines Р 2.1.10.1920–04 and R 2.1.10.3968–23.

Results. Exceeding the maximum one-time concentrations of suspended solids, carbon monoxide, phenol, formaldehyde, and average annual concentrations of suspended solids, formaldehyde, and benz(a)pyrene were detected. Hazard quotients (HQ) for acute inhalation exposure to pollutants were at the permissible or minimal level. Alarming levels of non-carcinogenic risk were formed with chronic exposure to suspended matter (HQ: 1.36–1.59) and formaldehyde (HQ: 1.63–2.57); high levels — from benz(a)pyrene (HQ: 5–9.3). The risk of acute inhalation exposure to suspended matter on the respiratory system corresponded to the permissible level in 2022–2023 (Hazard index (HI): 1.11–1.39). Chronic inhalation risk to the respiratory system was determined by primary exposure to particulate matter and formaldehyde, corresponding to the warning level (HI: 4.13–5.67). Chronic effects of benz(a)pyrene on development formed high risks in 2022 (6.47–9.78) and alarming risks in 2023–2024 (HI: 3.87–4.68). The total individual carcinogenic risk corresponded to the acceptable level, with formaldehyde accounting for the largest share of this risk (86.2–95.8%).

Limitations consisted in using data on the maximum one-time and average annual concentrations of pollutants contained in the atmospheric air of Abakan for risk calculations, based only on data from monitoring observation posts.

Conclusion. The obtained results of public health risk assessment can be criteria for the effectiveness of atmospheric protection measures implemented in Abakan within the framework of the federal project “Clean Air”.

Keywords: health risks; atmospheric air; pollutants; Abakan

Compliance with ethical standards. This study did not require the conclusion of the Ethics Committee.

For citation: Surzhikov D.V., Kislitsyna V.V., Likontseva Yu.S., Shtaiger V.A., Golikov R.A. Assessment of the aerogenic risk to the health in the population in Abakan. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2026; 105(4): 430–437. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-4-430-437> <https://elibrary.ru/twgudu> (In Russ.)

For correspondence: Vera V. Kislitsyna, e-mail: ecologia_nie@mail.ru

Contribution: Surzhikov D.V. – concept and design of the study, writing the text, editing; Kislitsyna V.V. – literature review, writing the text, editing; Likontseva Yu.S. – collection and processing of material; Shtaiger V.A. – collection and processing of material; Golikov R.A. – collection and processing of material. All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: January 26, 2026 / Revised: April 20, 2026 / Accepted: April 24, 2026 / Published: May 18, 2026

Введение

Республика Хакасия уникальна по географическому положению, климатическим условиям и природным ресурсам. Основным фактор, способствующий социально-экономическому развитию региона, – запасы полезных ископаемых. В Хакасии сосредоточено более 23% запасов молибдена, 27% барита, 3,5% каменного угля от общих запасов России [1]. Высокий уровень развития транспортной инфраструктуры Хакасии (международный аэропорт, сеть железных и автомобильных дорог) создаёт возможности для развития многих видов туризма [2]. В настоящее время это динамичный промышленный и сельскохозяйственный регион, для которого актуальны многие экологические проблемы: загрязнение атмосферного воздуха и воды, увеличение объёма бытовых стоков и отходов [3].

Административным и промышленным центром Хакасии является Абакан – город с населением ≈ 185 тыс. человек, многопрофильной экономикой [4]. Выбросы вредных веществ в атмосферу создаются предприятиями машиностроения, теплоэнергетики, пищевой промышленности, отопительными котельными, железнодорожным и автомобильным транспортом. Рядом с Абаканом функционируют предприятия угольной промышленности. Расстояние по прямой от разреза «Белоярский» до жилой застройки составляет 14 км, разрез расположен в южном направлении от жилой застройки. Основные источники теплоснабжения левобережной части Абакана – ТЭЦ «Абаканская», а также котельная мощностью 30 Гкал/ч, находящаяся в правобережной части города. Также действует котельная мостоотряда мощностью 8 Гкал/ч, расположенная на правом берегу реки Абакан. ТЭЦ «Абаканская» находится на промплощадке в западной части города, расстояние от неё до жилой застройки составляет 7 км. ТЭЦ и котельные в качестве топлива используют каменный уголь. На промплощадке в западной части города расположен вагоностроительный завод, который производит подвижной состав и крупнотоннажные контейнеры. Также к западу от центра города размещены мясоконсервный комбинат и камнеобрабатывающий, производящий жидеит и материалы для облицовочных работ. В южной части города находится опытно-механический завод, производящий технику для лесной промышленности. На правом берегу реки Абакан, к востоку от центра города, находятся завод железобетонных изделий и предприятие по производству пенопластов.

В розе ветров Абакана повторяемость западного ветра составляет 12,4%, южного – 13,5%, восточного – 10,5%. Преобладающими направлениями ветров являются северо-восточный – 17,8% и юго-западный – 19,3%. Таким образом, центр города подвержен воздействию промышленных выбросов при западном, южном и восточном ветрах. Кроме того, для Абакана, расположенного в географических и климатических условиях юга Средней Сибири, характерны метеорологические условия, препятствующие рассеива-

нию примесей в атмосфере, такие как приземные инверсии температуры и застои воздуха. Особенно неблагоприятные условия складываются в зимнее время. Согласно расчётам индекса загрязнения атмосферы, степень загрязнения воздушной среды Абакана бенз(а)пиреном является очень высокой [5].

Показано, что в промышленных центрах вклад факторов природной среды в нарушение здоровья населения может достигать 40–60% [6]. Многими исследованиями установлено, что техногенное загрязнение воздушной среды – основная причина, влияющая на формирование риска для здоровья населения промышленно развитых регионов [7–13]. При этом в Абакане эта тема изучена недостаточно, имеются лишь отдельные работы [14–17], что и определяет актуальность настоящего исследования.

Цель исследования – дать оценку риска для здоровья населения Абакана от воздействия загрязнений атмосферного воздуха.

Материалы и методы

Информация о валовых выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в Абакане за 2021–2023 гг. была взята из статистической отчётности Росприроднадзора¹. Мониторинг состояния воздушной среды города осуществляется на двух стационарных постах государственной наблюдательной сети Хакаского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу среды». На постах определяются концентрации оксидов азота и углерода, взвешенных веществ, формальдегида, фенола, бенз(а)пирена и других веществ. Пункт наблюдения за состоянием атмосферы Абакана № 2 (проспект Ленина, 108) расположен в центральной части города; пункт наблюдения № 3 (улица Пушкина, 21) находится в прибрежной восточной части жилой застройки, на левом берегу реки Абакан. Оба стационарных поста работают по неполной программе наблюдения: замеры проводятся трижды в сутки (в 7, 13 и 19 ч по местному времени). Данные о загрязнении атмосферного воздуха Абакана для настоящего исследования предоставлены Среднесибирским управлением по гидрометеорологии и мониторингу среды (Красноярск).

Максимальные разовые и среднегодовые предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ, содержащихся в атмосферном воздухе города, оценивали по СанПиН 1.2.3685–21². Аэрогенные риски для здоровья

¹ Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. Доступно: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/air-protect/> (дата обращения 25.09.2025 г.).

² Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: СанПиН 1.2.3685–1. Введён 01.03.2021 г.

населения Абакана за 2022–2023 гг. рассчитывали по Руководству Р 2.1.10.1920–04³, уровни рисков в эти годы классифицировали согласно МР 2.1.10.0156–19. 2.1.10⁴. Риски для здоровья за 2024 г. определялись согласно Руководству Р 2.1.10.3968–23⁵. В работе были проведены оценка и анализ неканцерогенных рисков от влияния атмосферных примесей на основе расчёта коэффициентов опасности (НҚ) и индексов опасности (НІ) при одновременном воздействии нескольких поллютантов с однонаправленным действием на критические органы и системы, а также индивидуальных канцерогенных рисков (СR). Неканцерогенные риски рассчитывали как для острого, так и для хронического воздействия токсикантов.

Результаты

Данные о выбросах от стационарных источников в воздушную среду Абакана в 2021–2023 гг. приведены на рисунке.

Валовые выбросы загрязняющих примесей в воздушную среду города составили 14,034 тыс. тонн в 2021 г., 18,22 тыс. тонн в 2022 г. и 15,31 тыс. тонн в 2023 г. Удельный вес диоксида серы в суммарных выбросах загрязняющих веществ в атмосферу Абакана от промышленных источников за период 2021–2023 гг. составлял 38,5–43,4%, диоксида азота – от 38,9 до 41,3%.

В табл. 1 приведены максимальные разовые 20-минутные концентрации загрязняющих примесей в атмосферном воздухе Абакана по данным постов наблюдения.

Согласно данным поста наблюдения № 2, максимальные разовые концентрации взвешенных веществ в 2022–2024 гг. превышали ПДК_{м.р.} в 1,1–1,35 раза; оксида углерода – в 1,24–1,72 раза; фенола – в 1,1 раза в 2022 г. и в 1,3 раза в 2023 г. В районе поста наблюдения № 3 максимальные разовые концентрации взвешенных веществ превышали ПДК_{м.р.} в 1,16–1,24 раза; оксида углерода – в 1,14–1,4 раза; фенола – в 1,2 раза в 2022 г.; формальдегида – в 1,02 раза в 2024 г. Максимальные разовые концентрации остальных загрязняющих примесей не превышали соответствующих ПДК_{м.р.}.

В табл. 2 приведены среднегодовые концентрации загрязняющих примесей в атмосферном воздухе Абакана по данным постов наблюдения.

Среднегодовые концентрации взвешенных веществ превышали ПДК_{с.г.} в 1,41–1,59 раза (пост наблюдения № 2) и в 1,36–1,47 раза (пост наблюдения № 3); формальдегида – в 1,63–2,27 раза (пост наблюдения № 2) и в 1,67–2,57 раза (пост наблюдения № 3); бенз(а)пирена – в 3,8–9,3 раза (пост наблюдения № 2) и в 3,5–6,1 раза (пост наблюдения № 3). Превышения ПДК_{с.г.} остальных веществ не выявлено.

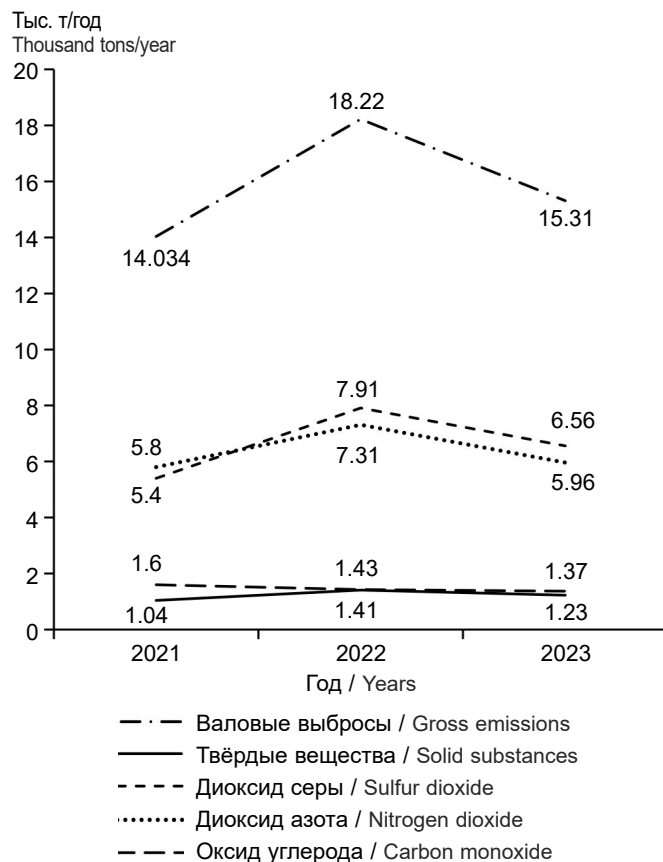
В табл. 3 представлены рассчитанные коэффициенты опасности (НҚ) развития неканцерогенных эффектов для отдельных веществ при острых ингаляционных воздействиях, определяемых влиянием максимальных разовых концентраций загрязняющих примесей.

Таким образом, коэффициенты опасности развития неканцерогенных эффектов при остром ингаляционном воздействии загрязняющих примесей соответствуют допустимому или минимальному уровню.

³ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Р 2.1.10.1920–04. Утверждено Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 5 марта 2004 г.

⁴ Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания населения. Оценка качества атмосферного воздуха и анализ риска здоровью населения в целях принятия обоснованных управленческих решений в сфере обеспечения качества атмосферного воздуха и санитарно-эпидемиологического благополучия населения: методические рекомендации 2.1.10.0156–19. 2.1.10. Утверждены Роспотребнадзором от 02.12.2019 г. № МР 2.1.10.0156–19. Доступно: <https://legalacts.ru/doc/mr-21100156-19-2110-gigiena-kommunalnaja-gigiena-sostojanie-zdorovja-naselenija/> (дата обращения: 10.04.2026 г.).

⁵ Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания: Р 2.1.10.3968–23. М.: Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения; 2023.



Выбросы (тыс. т/год) в воздушную среду Абакана в 2021–2023 гг. от стационарных источников.

Emissions (thousand tons/year) into the air of Abakan in 2021–2023 from stationary sources.

В табл. 4 представлены рассчитанные коэффициенты опасности (НҚ) развития неканцерогенных эффектов для отдельных веществ при хроническом ингаляционном воздействии, определяемом влиянием среднегодовых концентраций примесей.

Таким образом, среднегодовые концентрации взвешенных веществ формируют настораживающие уровни неканцерогенного риска в 2022–2024 гг. (НҚ 1,36–1,59); формальдегида – также настораживающие уровни риска (НҚ 1,63–2,57); бенз(а)пирена – высокие уровни риска (НҚ 3,5–9,3).

В табл. 5 представлены значения индексов опасности (НІ) по органам и системам организма при остром ингаляционном воздействии загрязняющих примесей.

Риск острого ингаляционного воздействия взвешенных веществ на органы дыхания соответствовал допустимому уровню в 2022–2023 гг. (НІ 1,11–1,39) и минимальному – в 2024 г. по данным обоих постов наблюдения. Индексы опасности по остальным органам и системам организма (сердечно-сосудистая, центральная нервная, глаза) при остром ингаляционном воздействии загрязняющих примесей находились на минимальном уровне (НІ < 1).

В табл. 6 представлены значения индексов опасности (НІ) по органам и системам организма при хроническом ингаляционном воздействии загрязняющих примесей.

Хронический ингаляционный риск по органам дыхания определялся основным воздействием взвешенных веществ и формальдегида и соответствовал настораживающему уровню (НІ 4,13–5,67) в 2022–2024 гг. по данным обоих постов наблюдения. Хроническое влияние бенз(а)пирена на развитие формировало высокие риски в 2022 г. (9,78 по данным

Таблица 1 / Table 1

Максимальные разовые концентрации загрязняющих примесей в атмосферном воздухе Абакана
Maximum single concentrations of pollutants in the atmospheric air of Abakan

Загрязняющая примесь Pollutant	Максимальные разовые концентрации, мг/м³ / доля ПДК _{м.р.} Maximum single concentration, mg/m³ / share of MPC _{m.s.}					
	Пост наблюдения № 2 / Observation post No. 2			Пост наблюдения № 3 / Observation post No. 3		
	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year
Взвешенные вещества / Suspended substances	0.627 / 1.25	0.550 / 1.10	0.673 / 1.35	0.600 / 1.20	0.580 / 1.16	0.620 / 1.24
Диоксид серы / Sulfur dioxide	0.035 / 0.07	0.040 / 0.08	0.045 / 0.09	0.035 / 0.07	0.036 / 0.07	0.040 / 0.08
Оксид азота / Nitric oxide	0.084 / 0.21	0.092 / 0.23	0.080 / 0.20	0.067 / 0.17	0.059 / 0.15	0.075 / 0.19
Диоксид азота / Nitrogen dioxide	0.107 / 0.54	0.064 / 0.32	0.104 / 0.52	0.106 / 0.53	0.061 / 0.31	0.102 / 0.51
Оксид углерода / Carbon monoxide	8.6 / 1.72	6.2 / 1.24	7.2 / 1.44	5.7 / 1.14	6.3 / 1.26	7.0 / 1.40
Фенол / Phenol	0.011 / 1.10	0.013 / 1.30	0.009 / 0.90	0.012 / 1.20	0.008 / 0.80	0.009 / 0.90
Формальдегид / Formaldehyde	0.035 / 0.70	0.029 / 0.58	0.042 / 0.84	0.042 / 0.84	0.042 / 0.84	0.051 / 1.02
Бенз(а)пирен / Benzo(a)pyrene	42.1 · 10 ⁻⁶ / —*	20.36 · 10 ⁻⁶ / —	24.4 · 10 ⁻⁶ / —	25.7 · 10 ⁻⁶ / —	14.67 · 10 ⁻⁶ / —	20.77 · 10 ⁻⁶ / —
Водород сернистый / Hydrogen sulfide	—	—	—	0.007 / 0.88	0.006 / 0.75	0.007 / 0.88

Примечание. ПДК_{м.р.} — максимальная разовая предельно допустимая концентрация; * — согласно СанПиН 1.2.3685–21, для бенз(а)пирена максимальная разовая ПДК не установлена.

Note. MPC_{m.s.} — maximum single permissible concentration; * — according to the Sanitary Rules and Norms 1.2.3685–21 the maximum single MPC for benzo(a)pyrene has not been established.

Таблица 2 / Table 2

Среднегодовые концентрации загрязняющих примесей в атмосферном воздухе Абакана
Average annual concentrations of pollutants in the atmospheric air of Abakan

Загрязняющая примесь Pollutant	Среднегодовая концентрация, мг/м³ / доля ПДК _{с.р.} Average annual concentration, mg/m³ / share of MPC _{a.a.}					
	Пост наблюдения № 2 / Observation post No. 2			Пост наблюдения № 3 / Observation post No. 3		
	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year
Взвешенные вещества / Suspended substances	0.119 / 1.59	0.106 / 1.41	0.114 / 1.52	0.105 / 1.40	0.102 / 1.36	0.110 / 1.47
Диоксид серы / Sulfur dioxide	0.004 / 0.08	0.0047 / 0.09	0.006 / 0.12	0.004 / 0.08	0.0045 / 0.09	0.0058 / 0.12
Оксид азота Nitric oxide	0.010 / 0.17	0.013 / 0.22	0.014 / 0.23	0.009 / 0.15	0.012 / 0.20	0.014 / 0.23
Диоксид азота / Nitrogen dioxide	0.019 / 0.48	0.015 / 0.38	0.024 / 0.60	0.018 / 0.45	0.015 / 0.38	0.023 / 0.58
Оксид углерода / Carbon monoxide	1.29 / 0.43	1.13 / 0.38	1.28 / 0.43	1.11 / 0.37	1.12 / 0.37	1.23 / 0.41
Фенол / Phenol	0.0014 / 0.47	0.0017 / 0.57	0.002 / 0.67	0.0014 / 0.47	0.0016 / 0.53	0.002 / 0.67
Формальдегид / Formaldehyde	0.0049 / 1.63	0.0068 / 2.27	0.007 / 2.33	0.005 / 1.67	0.0074 / 2.47	0.0077 / 2.57
Бенз(а)пирен / Benzo(a)pyrene	9.3 · 10 ⁻⁶ / 9.3	4.3 · 10 ⁻⁶ / 4.3	3.8 · 10 ⁻⁶ / 3.8	6.1 · 10 ⁻⁶ / 6.1	3.5 · 10 ⁻⁶ / 3.5	4.03 · 10 ⁻⁶ / 4.03
Водород сернистый / Hydrogen sulfide	—	—	—	0.0003 / 0.15	0.0006 / 0.30	0.0014 / 0.70

Примечание. ПДК_{с.р.} — среднегодовая предельно допустимая концентрация.

Note. MPC_{a.a.} — average annual permissible acceptable concentration.

Таблица 3 / Table 3

Коэффициенты опасности при острых ингаляционных воздействиях, связанные с максимальными разовыми концентрациями загрязняющих примесей
Hazard quotients for acute inhalation effects associated with maximum single concentrations of pollutants

Загрязняющая примесь Pollutant	Коэффициент опасности / Hazard quotient					
	Пост наблюдения № 2 / Observation post No. 2			Пост наблюдения № 3 / Observation post No. 3		
	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year
Взвешенные вещества / Suspended substances	0.7	0.01	—	0.67	0.64	—
Диоксид серы / Sulfur dioxide	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Оксид азота Nitric oxide	0.04	0.04	—	0.03	0.03	—
Диоксид азота / Nitrogen dioxide	0.17	0.1	0.16	0.17	0.09	0.16
Оксид углерода / Carbon monoxide	0.12	0.09	0.1	0.08	0.33	0.1
Фенол / Phenol	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Формальдегид / Formaldehyde	0.42	0.34	0.48	0.5	0.5	0.59
Бенз(а)пирен / Benzo(a)pyrene	—	—	—	0.04	0.04	0.1
Водород сернистый / Hydrogen sulfide	—	—	—	—	—	—

Таблица 4 / Table 4

Коэффициенты опасности при хронических ингаляционных воздействиях, связанные со среднегодовыми концентрациями загрязняющих примесей

Hazard quotients for chronic inhalation exposures associated with average annual concentrations of pollutants

Загрязняющая примесь Pollutant	Коэффициент опасности / Hazard quotient					
	Пост наблюдения № 2 / Observation post No. 2			Пост наблюдения № 3 / Observation post No. 3		
	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year
Взвешенные вещества / Suspended substances	1.59	1.41	1.52	1.40	1.36	1.47
Диоксид серы / Sulfur dioxide	0.08	0.09	0.12	0.08	0.09	0.12
Оксид азота Nitric oxide	0.17	0.22	0.23	0.15	0.20	0.23
Диоксид азота / Nitrogen dioxide	0.48	0.38	0.60	0.45	0.38	0.58
Оксид углерода / Carbon monoxide	0.43	0.38	0.43	0.37	0.37	0.41
Фенол / Phenol	0.23	0.28	0.33	0.23	0.27	0.33
Формальдегид / Formaldehyde	1.63	2.27	2.33	1.67	2.47	2.57
Бенз(а)пирен / Benzo(a)pyrene	9.3	4.3	3.8	6.1	3.5	4.03
Водород сернистый / Hydrogen sulfide	—	—	—	0.15	0.30	0.70

Таблица 5 / Table 5

Индексы опасности по органам и системам организма при острых ингаляционных воздействиях загрязняющих примесей

Hazard indices for body organs and systems in acute inhalation exposure to pollutants

Органы и системы Organs and systems	Индекс опасности / Hazard index					
	Пост наблюдения № 2 / Observation post No. 2			Пост наблюдения № 3 / Observation post No. 3		
	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year
Органы дыхания / Respiratory organs	1.35	1.11	0.18	1.39	1.28	0.18
Система кровообращения Cardiovascular system	0.12	0.09	0.1	0.08	0.33	0.1
Центральная нервная система Central nervous system	—	—	—	—	—	0.1
Глаза / Eyes	0.42	0.34	0.48	0.5	0.5	0.59

Таблица 6 / Table 6

Индексы опасности по органам и системам организма при хронических ингаляционных воздействиях загрязняющих примесей

Hazard indices for organs and systems of the body under chronic inhalation exposure to pollutants

Органы и системы Organs and systems	Индекс опасности / Hazard index					
	Пост наблюдения № 2 / Observation post No. 2			Пост наблюдения № 3 / Observation post No. 3		
	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year
Органы дыхания / Respiratory organs	4.18	4.65	4.80	4.13	5.07	5.67
Кровь / Blood	1.08	0.98	1.26	0.97	0.95	1.22
Система кровообращения Cardiovascular system	0.66	0.66	0.76	0.60	0.64	0.74
Развитие / Development	9.78	4.68	4.23	6.47	3.87	4.44
Центральная нервная система Central nervous system	0.66	0.66	0.43	0.60	0.64	0.41
Печень / Liver	0.23	0.28	0.33	0.23	0.27	0.33
Почки / Kidneys	0.23	0.28	0.33	0.23	0.27	0.33
Нервная система / Nervous system	—	—	0.33	—	—	1.03

Таблица 7 / Table 7

Индивидуальный канцерогенный риск для здоровья населения Абакана

Individual carcinogenic risk to health in the population in Abakan

Загрязняющая примесь Pollutant	Индивидуальный канцерогенный риск / Individual carcinogenic risk					
	Пост наблюдения № 2 / Observation post No. 2			Пост наблюдения № 3 / Observation post No. 3		
	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year
Формальдегид / Formaldehyde	$6.18 \cdot 10^{-5}$	$8.58 \cdot 10^{-5}$	$8.83 \cdot 10^{-5}$	$6.31 \cdot 10^{-5}$	$9.34 \cdot 10^{-5}$	$9.72 \cdot 10^{-5}$
Бенз(а)пирен / Benzo(a)pyrene	$9.95 \cdot 10^{-6}$	$4.60 \cdot 10^{-6}$	$4.06 \cdot 10^{-6}$	$6.53 \cdot 10^{-6}$	$3.74 \cdot 10^{-6}$	$4.31 \cdot 10^{-6}$
Суммарно / Total	$7.18 \cdot 10^{-5}$	$9.04 \cdot 10^{-5}$	$9.24 \cdot 10^{-5}$	$6.96 \cdot 10^{-5}$	$9.71 \cdot 10^{-5}$	$1.02 \cdot 10^{-4}$

Таблица 8 / Table 8

Удельный вес загрязняющих примесей в формировании суммарного индивидуального канцерогенного риска, %
Specific gravity of pollutants in the formation of total individual carcinogenic risk, %

Загрязняющая примесь Pollutant	Удельный вес, % / Specific gravity, %					
	Пост наблюдения № 2 / Observation post No. 2			Пост наблюдения № 3 / Observation post No. 3		
	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year	2022 год / year	2023 год / year	2024 год / year
Формальдегид / Formaldehyde	86.2	95.0	95.7	90.6	96.0	95.8
Бенз(а)пирен / Benzo(a)pyrene	13.8	5.0	4.3	9.4	4.0	4.2
Суммарно / Total	100	100	100	100	100	100

поста наблюдения № 2 и 6,47 по данным поста наблюдения № 3) и настораживающие — в 2023–2024 гг. (НІ 3,87–4,68). Остальные индексы опасности по органам и системам организма при хроническом ингаляционном воздействии загрязняющих примесей соответствовали допустимому или минимальному уровню.

В табл. 7 представлены значения индивидуального канцерогенного риска (CR) для здоровья населения Абакана.

По данным обоих постов наблюдения уровень суммарного индивидуального канцерогенного риска для здоровья населения Абакана соответствует допустимому уровню.

В табл. 8 представлен удельный вес загрязняющих примесей в формировании суммарного индивидуального канцерогенного риска.

Основной удельный вес в формировании суммарного индивидуального канцерогенного риска имеет формальдегид (86,2–95,7% на посту наблюдения № 2; 90,6–95,8% на посту наблюдения № 3).

Обсуждение

Сохранение природного богатства — одна из приоритетных задач Хакасии [18]. Так, для эффективного социально-экономического развития региона разработана и реализуется «Стратегия социально-экономического развития Республики Хакасия до 2030 года»⁶. Главной целью Стратегии является обеспечение высокого уровня и качества жизни населения республики на основе повышения конкурентоспособности экономики, обеспечивающей экономический рост Республики Хакасия. Указанной цели планируется достичь посредством комплекса стратегических мероприятий, в число которых входят рациональное природопользование и обеспечение экологической безопасности. Кроме того, Абакан стал одним из городов, в которых реализуется федеральный проект «Чистый воздух» в рамках национального проекта «Экология». Для этого разработан комплексный план мероприятий, направленных на снижение вредных выбросов в атмосферный воздух.

Настоящее исследование выявило, что основной удельный вес в суммарных выбросах в атмосферу Абакана имели диоксид серы (38,5–43,4%) и диоксид азота (38,9–41,3%). По данным мониторинговых постов наблюдения в 2022–2024 гг. определено превышение ПДК_{м.р.} взвешенных веществ, оксида углерода, фенола и формальдегида. Среднегодовые концентрации взвешенных веществ, формальдегида и бенз(а)пирена превышали ПДК_{с.г.}. Более высокие концентрации всех поллютантов установлены в районе поста наблюдения № 2. Коэффициенты опасности развития неканцерогенных эффектов при остром ингаляционном воздействии загрязняющих примесей соответствовали допустимому или минимальному уровню. В 2022–2024 гг. хроническое ингаляционное воздействие среднегодовых концентраций взвешенных веществ формировало настораживающие уровни неканцерогенного риска (НҚ 1,36–1,59); формальдегида — также настораживающие уровни риска

(НҚ 1,63–2,57); бенз(а)пирена — высокие уровни риска (НҚ 3,5–9,3). Риск острого ингаляционного воздействия взвешенных веществ на органы дыхания соответствовал, по данным обоих постов наблюдения, допустимому уровню в 2022–2023 гг. (НІ 1,11–1,39) и минимальному — в 2024 г. Индексы опасности по остальным органам и системам организма (сердечно-сосудистая, центральная нервная и глаза) при остром ингаляционном воздействии загрязняющих примесей находились на минимальном уровне (НІ < 1).

Хронический ингаляционный риск по органам дыхания определялся основным воздействием взвешенных веществ и формальдегида и соответствовал в 2022–2024 гг., по данным обоих постов наблюдения, настораживающему уровню (НІ 4,13–5,67). Хроническое влияние бенз(а)пирена на развитие формировало высокие риски в 2022 г. (9,78 по данным поста наблюдения № 2 и 6,47 по данным поста наблюдения № 3) и настораживающие — в 2023–2024 гг. (НІ 3,87–4,68). Остальные индексы опасности по органам и системам организма при хроническом ингаляционном воздействии загрязняющих примесей соответствовали допустимому или минимальному уровню. По данным обоих постов наблюдения, значения суммарного индивидуального канцерогенного риска для здоровья населения Абакана находились на допустимом уровне. Основной удельный вес в формировании суммарного индивидуального канцерогенного риска имел формальдегид (86,2–95,8%). Таким образом, приоритетные атмосферные примеси, оказывающие наибольшее влияние на здоровье, — взвешенные вещества, формальдегид и бенз(а)пирен. Данные токсиканты являются основными продуктами сгорания твёрдого топлива, а также содержатся в выхлопных газах автомобилей [19, 20].

Географическое расположение Абакана в центре Минусинской котловины с пониженным воздухообменом и большое количество частных домовладений с угольным отоплением способствуют накоплению вредных выбросов в атмосфере. Печи частного сектора определяют более 50% от общего объёма выбросов. В городе находятся ≈ 15 тыс. частных домовладений, в основном с печным угольно-древесным отоплением. Показано, что автономные источники теплоснабжения (АИТ) могут вносить решающий вклад в уровень загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов. Наиболее эффективное мероприятие по снижению загрязнения атмосферного воздуха населённых мест выбросами АИТ — замена твёрдого и жидкого минерального топлива другими источниками [21]. Комплексный план Абакана предусматривает перевод частного сектора с печного отопления на электрическое и централизованное, а также установку более 1,4 тыс. твердотопливных котлов. Также планируются мероприятия по усилению теплозащиты частных домов [22].

Таким образом, при оценке риска, основанной только на результатах замеров концентраций загрязняющих веществ по данным мониторинговых постов наблюдения, улавливающих также влияние выбросов от автотранспорта и АИТ, возникают значительные неопределённости. Для подготовки обоснованных управленческих решений по снижению риска для здоровья населения от аэрогенной химической нагрузки в рамках федерального проекта

⁶ Закон Республики Хакасия «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Республики Хакасия до 2030 года». Принят Верховным Советом Республики Хакасия 29 января 2020 г. Доступно: <https://r-19.ru/management/5697/86042.html>

«Чистый воздух» в Абакане следует использовать сводные расчёты всех трёх составляющих загрязнения атмосферного воздуха. В целом полученные в работе результаты, характеризующие состояние воздушной среды Абакана и формирование рисков для здоровья городского населения от воздействия атмосферных загрязнений, согласуются с исследованиями, проведёнными в других городах — участниках федерального проекта «Чистый воздух» [23–25].

Ограничения исследования состояли в использовании для расчётов рисков воздействия максимальных разовых и среднегодовых концентраций загрязняющих примесей в атмосферном воздухе Абакана данных, предоставленных лишь мониторинговыми постами наблюдения.

Заключение

Основными загрязняющими атмосферными примесями, оказывающими негативное воздействие на здоровье населения Абакана, являются взвешенные вещества, формаль-

дегид и бенз(а)пирен. При хроническом ингаляционном воздействии взвешенных веществ и формальдегида формировались настораживающие уровни неканцерогенного риска для здоровья населения Абакана, при влиянии бенз(а)пирена — высокие уровни. Хронический ингаляционный риск по органам дыхания определялся основным воздействием взвешенных веществ и формальдегида и соответствовал настораживающему уровню. Хроническое влияние бенз(а)пирена на развитие формировало высокие и настораживающие риски. Значения суммарного индивидуального канцерогенного риска соответствовали допустимому уровню. Полученные результаты оценки риска для здоровья населения могут считаться критериями результативности атмосфероохранных мероприятий, реализуемых в Абакане в рамках федерального проекта «Чистый воздух». В дальнейшем для снижения имеющихся неопределённостей необходимо включить в исследования сведения об источниках загрязнения атмосферного воздуха Абакана, не учтённых в данной работе.

Литература

1. Коняхина Т.Б., Кузнецова М.А., Назаров А.А., Папина О.В. Современное состояние и перспективы развития экономики Республики Хакасия. *Экономика и предпринимательство*. 2021; (11): 559–63. <https://doi.org/10.34925/EIP.2021.11.136.111> <https://elibrary.ru/kzneqi>
2. Коханов Д.А. Основные направления экономического развития Республики Хакасия. *Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова*. 2024; (1): 76–80. <https://elibrary.ru/yvenou>
3. Лопаткина С.В., Фисунова Я.С. Тема экологии в печатных изданиях «Хакасия», «Абакан», «Шанс»: сопоставительный аспект. *Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова*. 2019; (3): 68–73. <https://elibrary.ru/jxunmp>
4. Тиникова Е.Е. Урбанизация в Хакасии в постсоветский период: основные векторы развития. *Городские исследования и практики*. 2020; 5(4): 87–102. <https://doi.org/10.17323/usp54202087-102> <https://elibrary.ru/oraavd>
5. Кара-Сал И.Д., Хойлаарак З.К.О. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха городов Восточной Сибири бенз(а)пиреном. *Вестник Тувинского государственного университета. Естественные и сельскохозяйственные науки*. 2022; (4): 25–33. <https://elibrary.ru/sqhkzc>
6. Сковронская С.А., Мешков Н.А., Вальцева Е.А., Иванова С.В. Приоритетные факторы риска для здоровья населения крупных промышленных городов. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(4): 459–67. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-4-459-467> <https://elibrary.ru/sjqpzc>
7. Мякишева Ю.В., Федосейкина И.В., Михайлюк Н.А., Скажина О.Я., Алешина Ю.А., Павлов А.Ф. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на формирование риска здоровью населения экологически неблагоприятного района крупного промышленного центра. *Здоровье населения и среда обитания* — *ЗНУСО*. 2022; 30(3): 44–52. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-3-44-52> <https://elibrary.ru/vfnfsm>
8. Кузьмин С.В., Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицин В.А., Пинигин М.А., Бударина О.В. Воздействие атмосферных загрязнений на здоровье населения: диагностика, оценка и профилактика. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(10): 1145–50. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1145-1150> <https://elibrary.ru/eplgkr>
9. Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Волкодаева М.В., Еремин Г.Б. Совершенствование подходов к оценке воздействия антропогенного загрязнения атмосферного воздуха на население в целях управления рисками для здоровья. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(1): 82–6. <https://elibrary.ru/ywahnv>
10. Зайцева Н.В., Онищенко Г.Г., Май И.В., Шур П.З. Развитие методологии анализа риска здоровью в задачах государственного управления санитарно-эпидемиологическим благополучием населения. *Анализ риска здоровью*. 2022; (3): 4–20. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.01> <https://elibrary.ru/imrunc>
11. Рахманин Ю.А., Додина Н.С., Алексеева А.В. Современные методические подходы к оценке риска здоровью населения от воздействия химических веществ. *Анализ риска здоровью*. 2023; (4): 33–41. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.4.03> <https://elibrary.ru/pkxkfb>
12. Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Штайгер В.А., Голиков Р.А. Опыт применения статистико-математических технологий для оценки влияния атмосферных загрязнений на здоровье населения в крупном промышленном центре. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(7): 663–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-7-663-667> <https://elibrary.ru/tycctc>
13. Кислицына В.В., Ликонцева Ю.С., Суржиков Д.В., Голиков Р.А. Сравнительная оценка риска нарушения здоровья населения двух промышленных центров Кузбасса от воздействия атмосферных загряз-
- нений. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023; 63(7): 468–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-7-468-473> <https://elibrary.ru/kxbtoy>
14. Русман Д.Р. Оценка состояния атмосферного воздуха города Абакан. *Modern Science*. 2021; (12–1): 41–6. <https://elibrary.ru/xsxuge>
15. Русман Д.Р. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха районов города Абакана РМ. *Modern Science*. 2021; (12–4): 13–20. <https://elibrary.ru/kfddid>
16. Русман Д.Р. Перспективы снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха в городе Абакане. В кн.: *Катановские чтения — 2022: Сборник научных трудов студентов*. Абакан; 2022: 238–9. <https://elibrary.ru/kptzvu>
17. Кузьмин С.В., Додина Н.С., Кислицин В.А., Шашина Т.А., Рыжаков Н.Н., Воронова А.В. Результаты оценки риска здоровью населения гг. Абакан и Черногорск по базовым данным сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха (Федеральный проект «Чистый воздух»). В кн.: *Материалы научно-практической конференции, посвящённой 95-летию Екатеринбургского медицинского научного центра профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий*. Екатеринбург; 2024: 28–9. <https://elibrary.ru/bcsuuz>
18. Вольф К.В. Экологический аудит в Республике Хакасия. *Учет, анализ и аудит: проблемы теории и практики*. 2023; (31): 21–3. <https://elibrary.ru/xddbog>
19. Макаров В.Н., Торговкин Н.В. Взвешенные вещества в атмосфере Якутска: происхождение, геохимия, воздействие на здоровье. *Наука и техника в Якутии*. 2021; (1): 21–6. <https://doi.org/10.24412/1728-516X-2021-1-21-26> <https://elibrary.ru/bwwcuz>
20. Халимов О.З., Халимов И.О. Анализ вариантов снижения загрязнения в Абакано-Черногорском промышленном узле. *Финансовый бизнес*. 2025; (1): 92–6. <https://elibrary.ru/laajlw>
21. Волкодаева М.В., Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Канчан Я.С., Левкин А.В., Тимин С.Д. Учёт выбросов загрязняющих веществ от автономных источников теплоснабжения индивидуальных жилых домов при проведении сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха для населённых пунктов. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(2): 141–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-2-141-147> <https://elibrary.ru/nybmdl>
22. Чомаева М.Н. Спектр экологических проблем как следствие загрязнения атмосферы. *Астраханский вестник экологического образования*. 2025; (1): 106–12. <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2025-1-106-112> <https://elibrary.ru/hvmtrpm>
23. Кузьмин С.В., Авалиани С.Л., Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицин В.А., Синицына О.О. Практика применения оценки риска здоровью в федеральном проекте «Чистый воздух» в городах-участниках (Череповец, Липецк, Омск, Новокузнецк): проблемы и перспективы. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(9): 890–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896> <https://elibrary.ru/sybxwe>
24. Май И.В., Клейн С.В., Максимова Е.В., Балашов С.Ю., Цинкер М.Ю. Гигиеническая оценка ситуации и анализ риска здоровью населения как информационная основа организации мониторинга и формирования комплексных планов воздухоохранных мероприятий федерального проекта «Чистый воздух». *Гигиена и санитария*. 2021; 100(10): 1043–51. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1043-1051> <https://elibrary.ru/ohsroc>
25. Зайцева Н.В., Май И.В. Качество атмосферного воздуха и показатели риска здоровью как объективные критерии результативности воздухоохранной деятельности на территориях городов-участников федерального проекта «Чистый воздух». *Анализ риска здоровью*. 2023; (1): 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.01> <https://elibrary.ru/omvwle>

References

- Konyahina T.B., Kuznetsova M.A., Nazarov A.A., Papina O.V. The current state and prospects for the development of the economy of the Republic of Khakassia. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2021; (11): 559–63. <https://doi.org/10.34925/EIP.2021.11.136.111> <https://elibrary.ru/kzneqi> (in Russian)
- Kokhanin D.A. Main directions of economic development of the Republic of Khakassia. *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova*. 2024; (1): 76–80. <https://elibrary.ru/yvenou> (in Russian)
- Lopatkina S.V., Fisunova Ya.S. Topic of ecology in the printed editions «Khakassia», «Abakan», «Chance» in the comparative aspect. *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova*. 2019; (3): 68–73. <https://elibrary.ru/jxunmp> (in Russian)
- Tinikova E.E. The main directions of urbanization in Khakassia in the post-Soviet period. *Gorodskie issledovaniya i praktiki*. 2020; 5(4): 87–102. <https://doi.org/10.17323/usp54202087-102> <https://elibrary.ru/oraavd> (in Russian)
- Kara-Sal I.D., Khoylarak Z.K.O. Assessment of the level of atmospheric air pollution in the cities of eastern Siberia by benz(a)pyrene. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye i sel'skokhozyaistvennye nauki*. 2022; (4): 25–33. <https://elibrary.ru/sqhkzc> (in Russian)
- Skovronskaya S.V., Meshkov N.A., Valtseva E.A., Ivanova S.V. Priority risk factors for population health in large industrial cities. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(4): 459–67. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-4-459-467> <https://elibrary.ru/sjqpzc> (in Russian)
- Myakisheva Yu.V., Fedoseikina I.V., Mikhayluk N.A., Skazkina O.Ya., Aleshina Yu.A., Pavlov A.F. Ambient air pollution and population health risks in a contaminated area of a large industrial center. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya — ZnISO*. 2022; 30(3): 44–52. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-3-44-52> <https://elibrary.ru/vfnfsm> (in Russian)
- Kuzmin S.V., Dodina N.S., Shashina T.A., Kisilitsin V.A., Pinigin M.A., Budarina O.V. The impact of atmospheric pollution on public health: diagnosis, assessment, and prevention. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(10): 1145–50. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1145-1150> <https://elibrary.ru/eplgr> (in Russian)
- Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Volkodaeva M.V., Yeregin G.B. The improvement of approaches to the assessment of effects of the anthropogenic air pollution on the population in order to management the risk for health. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(1): 82–6. <https://elibrary.ru/ywahhv> (in Russian)
- Zaitseva N.V., Onishchenko G.G., May I.V., Shur P.Z. Developing the methodology for health risk assessment within public management of sanitary-epidemiological welfare of the population. *Health Risk Analysis*. 2022; (3): 4–20. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.01> <https://elibrary.ru/naciyf>
- Rakhmanin Yu.A., Dodina N.S., Alekseeva A.V. Modern methodological approaches to assessing public health risks due to chemicals exposure. *Health Risk Analysis*. 2023; (4): 33–41. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.4.03> <https://elibrary.ru/hjdjot>
- Surzhikov D.V., Kisilitsyna V.V., Shtaiger V.A., Golikov R.A. Experience in using statistical and mathematical technologies to assess the impact of atmospheric pollution on public health in a large industrial center. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(7): 663–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-7-663-667> <https://elibrary.ru/tyctc> (in Russian)
- Kisilitsyna V.V., Likontseva Yu.S., Surzhikov D.V., Golikov R.A. Comparative assessment of the risk of health disorders of the population at two industrial centers of Kuzbass from exposure to atmospheric pollution. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2023; 63(7): 468–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-7-468-473> <https://elibrary.ru/kxbtoy> (in Russian)
- Rusman D.R. Assessment of the state of atmospheric air in the city of Abakan. *Modern Science*. 2021; (12–1): 41–6. <https://elibrary.ru/xsxuge> (in Russian)
- Rusman D.R. Monitoring of air pollution in the districts of the city of Abakan PM_{2.5}. *Modern Science*. 2021; (12–4): 13–20. <https://elibrary.ru/kftdid> (in Russian)
- Rusman D.R. Prospects for reducing air pollution in Abakan. In: *Katanov Readings — 2022: A Collection of Student Research Papers [Katanovskie chteniya — 2022: Sbornik nauchnykh trudov studentov]*. Abakan; 2022: 238–9. <https://elibrary.ru/kptzvu> (in Russian)
- Kuzmin S.V., Dodina N.S., Kisilitsin V.A., Shashina T.A., Ryzhakov N.N., Voronova A.V. Results of the health risk assessment of the population of Abakan and Chernogorsk based on the basic data of consolidated calculations of atmospheric air pollution (Federal project «Clean Air»). In: *Proceedings of the Scientific and Practical Conference Dedicated to the 95th Anniversary of the Yekaterinburg Medical Scientific Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers [Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 95-letiyu Ekaterinburgskogo meditsinskogo nauchnogo tsentra profilaktiki i okhrany zdorov'ya rabochikh prompredpriyatii]*. Ekaterinburg; 2024: 28–9. <https://elibrary.ru/bcsuuz> (in Russian)
- Wolf K.V. Environmental audit in the Republic of Khakassia. *Uchet, analiz i audit: problemy teorii i praktiki*. 2023; (31): 21–3. <https://elibrary.ru/xddbog> (in Russian)
- Makarov V.N., Torgovkin N.V. Suspended substances in the atmosphere of Yakutsk: origin, geochemistry, health effects. *Nauka i tekhnika v Yakutii*. 2021; (1): 21–6. <https://doi.org/10.24412/1728-516X-2021-1-21-26> <https://elibrary.ru/bwucuz> (in Russian)
- Khalimov O.Z., Khalimov I.O. Analysis of pollution reduction options in the Abakan-Chernogorsk industrial hub. *Finansovyi biznes*. 2025; (1): 92–6. <https://elibrary.ru/laajlw> (in Russian)
- Volkodaeva M.V., Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Kanchan Ya.S., Levkin A.V., Timin S.D. On accounting for emissions of pollutants from autonomous heat supply sources of individual residential buildings when conducting summary calculations of atmospheric air pollution for settlements. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(2): 141–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-2-141-147> <https://elibrary.ru/nybmxl> (in Russian)
- Chomaeva M.N. The range of environmental problems as a consequence atmospheric pollution. *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2025; (1): 106–12. <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2025-1-106-112> <https://elibrary.ru/hvmrpm> (in Russian)
- Kuzmin S.V., Avaliani S.L., Dodina N.S., Shashina T.A., Kisilitsin V.A., Sinitsyna O.O. The practice of applying health risk assessment in the federal project «Clean air» in the participating cities (Cherepovets, Lipetsk, Omsk, Novokuznetsk): problems and prospects. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(9): 890–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896> <https://elibrary.ru/sybxwe> (in Russian)
- May I.V., Kleyn S.V., Maksimova E.V., Balashov S.Yu., Tsinker M.Yu. Hygienic assessment of the situation and analysis of the health risk of the population as an information basis for the organization of monitoring and the formation of complex plans for air protection measures of the federal project «Clean air». *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(10): 1043–51. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1043-1051> <https://elibrary.ru/ohsroc> (in Russian)
- Zaitseva N.V., May I.V. Ambient air quality and health risks as objective indicators to estimate effectiveness of air protection in cities included into the «Clean air» federal project. *Analiz riska zdorov'yu*. 2023; (1): 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.01> <https://elibrary.ru/omvwle> (in Russian)

Сведения об авторах

Суржиков Дмитрий Вячеславович, доктор биол. наук, доцент, зав. лаб. экологии человека и гигиены окружающей среды ФГБНУ «НИИ КПППЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: berlin-rim2013@yandex.ru

Кислицына Вера Викторовна, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. лаб. экологии человека и гигиены окружающей среды ФГБНУ «НИИ КПППЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: ecologia_nie@mail.ru

Ликонцева Юлия Сергеевна, науч. сотр. лаб. экологии человека и гигиены окружающей среды ФГБНУ «НИИ КПППЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: yuliya.likonceva@yandex.ru

Штайгер Варвара Адамовна, науч. сотр. лаб. экологии человека и гигиены окружающей среды ФГБНУ «НИИ КПППЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: shtaiger.2013@yandex.ru

Голиков Роман Анатольевич, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. экологии человека и гигиены окружающей среды ФГБНУ «НИИ КПППЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: biodez42@mail.ru

About the authors

Dmitry V. Surzhikov, DSc (Biology), associate professor, head, Human ecology and environmental health laboratory, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7469-4178> E-mail: berlin-rim2013@yandex.ru

Vera V. Kisilitsyna, PhD (Medicine), leading researcher, Human ecology and environmental health laboratory, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2495-6731> E-mail: ecologia_nie@mail.ru

Yuliya S. Likontseva, researcher, Human ecology and environmental health laboratory, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-8468-2533> E-mail: yuliya.likonceva@yandex.ru

Varvara A. Shtaiger, researcher, Human ecology and environmental health laboratory, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-4628-3133> E-mail: shtaiger.2013@yandex.ru

Roman A. Golikov, PhD (Medicine), senior researcher, Human ecology and environmental health laboratory, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3112-2919> E-mail: biodez42@mail.ru